

第4章 地下水流動に影響を及ぼす要因の状況

地下水は、常に供給され、流出している状況にあり、流動しています。地下水流動に影響を及ぼす外的要因は、流入要因と流出要因に区分され、それらのバランスにより、地下水環境が形成されています。

流入要因としては、高時川河川水の浸透、水田からの浸透、降雨の浸透が主となっています。水田用水の大半は高時川から取水していることも考えると、高時川が地下水供給に大きく寄与していることがわかります。

流出要因としては、余呉川・田川への流出、井戸からの取水、琵琶湖への流出が主となっています。

4-1 琵琶湖周辺域の水収支と地下水賦存量

地下水を1つの容器と考えると、この容器内の水は流入量と流出量のバランスによりその容量が決定されます。この概念を水収支という言葉で表現しています。

琵琶湖周辺域の年間水収支及び地下水賦存量については、過去にいくつかの検討事例があるため、これらをまとめて表 4-1 に紹介します。

流出量及び湖面降水については、実績から求めているためほぼ間違いのない数字と考えます。河川及び地下水の琵琶湖への流入量は、45 億 m³/年程度と推定されます。この河川及び地下水の流入量のうち、地下水流入量は、2.4～10.0 億 m³/年となっており、全流入量に対して 4～18%、河川から琵琶湖への流入量に対して 6～28%となります。

表 4-1 既往文献による水収支検討例

	流入・流出項目	流入・流出量 (億 m ³ /年)			
		Fujino ^{*1)} (1980)	45.1	國松 ^{*2)} (2003.2)	湖底湧出地下水 量から推定 した地下水流入 量 ^{*3)}
流入 琵琶湖への	湖面降水(P)	11.5		12.2 ^{*4)}	記述なし
	河川からの流入(R)	35.1		41.7 ^{*5)}	記述なし
	地下水流入(G)	10.0		2.4 ^{*6)}	8.5
	小計	56.6		56.6	記述なし
琵琶湖からの 流出	湖面蒸発(E)	5.2		5.8 ^{*7)}	記述なし
	河川への流出(D)	51.4		50.5 ^{*8)}	記述なし
	小計	56.6		56.3	記述なし

*1) Fujino.Y, “An introduction to limnology of Lake Biwa”, Syuiti Mori, 昭和 55 年, P19～26

*2) 國松孝男, 「琵琶湖流域を読む 下 多様な河川世界へのガイドブック」、サンライズ出版、平成 15 年 2 月、247 頁

*3) 小林正雄, 「琵琶湖流域を読む 下 多様な河川世界へのガイドブック」、サンライズ出版、平成 15 年 2 月、224～229 頁

*4) 降水量を 1800mm/年として計算。(0.0018×680=1.224)

*5) 計算流入量 (R=P+G-E-D)

*6) 建設省琵琶湖工事事務所資料

*7) 岡本らによる研究

*8) 1976～85 年の 10 年間の平均実測流出量 (建設省琵琶湖工事事務所資料)

(1)Fujino (1980) による水収支検討例

水収支の概念図を図 4-1 に示しました。

琵琶湖周辺の地下水涵養量は 10 億 m³/年 (1.0km³/年) と推定されています。

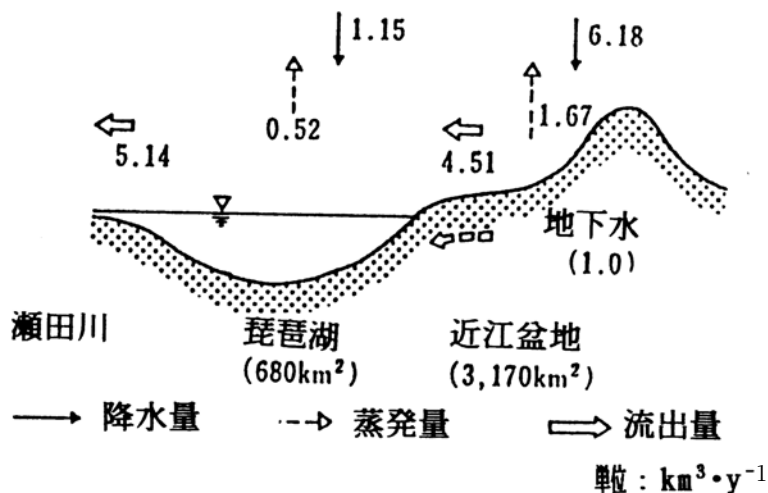


図 4-1 琵琶湖の水収支

出典) Fujino.Y, “An introduction to limnology of Lake Biwa”, Syuiti Mori, 昭和 55 年, P19～26

(2)國松 (2003) による水収支検討例

水収支の概念図を図 4-2 に示しました。

琵琶湖周辺の地下水涵養量は 24 億 m³/年と推定されています。

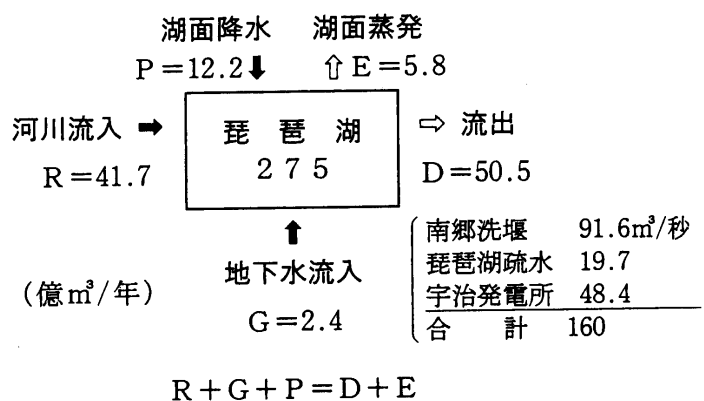


図 4-2 琵琶湖の水収支

出典) 國松孝男,「琵琶湖流域を読む 下 多様な河川世界へのガイドブック」、サンライズ出版、平成 15 年 2 月、247 頁

(3) 小林 (2003) による琵琶湖への地下水湧出量

琵琶湖への地下水湧出量については、シーページメータを用いた沿岸湖底地下水湧出量調査結果 (図 4-3 参照) 及び 76 地点の水理地質構造の検討結果から、各地点の単位幅当たりの湧出量を求め、その値にそれぞれの区域の湖岸長を乗じ積算して求めています。この結果、琵琶湖全域からの地下水流入量は、8.5 億 m³/年と推定されています。

ただし、この算定においては、実験式より水深 10～20m 沖合までしか湧水が生じないという条件となっており、沖合の湖底にある透水性の高い帯水層からの湧水を考慮していないため、流入量を過小評価している可能性があります。

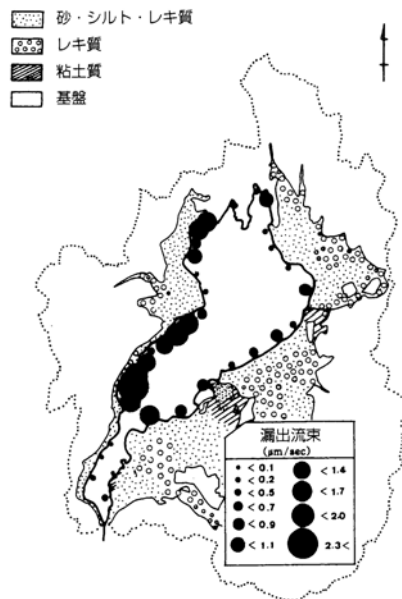


図 4-3 琵琶湖への地下水湧出量調査結果の一例

出典) 小林正雄、「琵琶湖流域を読む 下 多様な河川世界へのガイドブック」、サンライズ出版、平成 15 年 2 月、227 頁

4-2 高時川低地の水収支

高時川低地の水収支の概念については、その概念図を図4-4、図4-5に示しました。高時川低地の地下にある帯水層を1つのブロックと考えると、このブロックに入った水は同じ量だけ出ていくことになります。したがって、高時川低地下の帯水層の水収支を考える場合は、水を供給する流入要因と地下水が流出する流出要因を把握することが必要です。

流入要因としては、降水、高時川河川水、水田（かんがい期のみ）が考えられ、流出要因としては、蒸発散、琵琶湖・余呉川・田川等への流出、井戸による揚水が考えられます。なお、山地の地質状態から考えると、山地内部から地下水への直接の流入は極めて少ないと考えられます。

高時川の河川水位が周辺地下水位よりも高いため、図4-6に示した範囲について水収支の検討を行いました。この検討結果により得られた要因毎の流入・流出量については、あくまでも概算です。

地下水流入要因については、高時川河川水と水田の2つの要因が地下水涵養に重要な要因であると考えられます（表4-2参照）。

表 4-2 高時川低地への地下水流入要因のまとめ

	地下水への流入量 (億 m ³ /年)	備 考
高時川河川水からの流入量	0.53	高時川 7.6k～10.6k 間の年間損失流量について、4年間の平均値として求めています。なお、河川流水の蒸発量は考慮していません。
水田からの流入量	0.47	目標減水深をもとに、灌漑期の地下水浸透率を仮定して求めています。このため、精度は余りよくないと想定されます。
降水による流入量	0.35	高時川低地において、非灌漑期の30年間の平均降水量と平均蒸発散量の差し引きにより求めました。豪雨時の地表流出を考慮していないため、やや大きめの値と考えられます。
流入量合計	1.35	

琵琶湖・余呉川・田川等への流出、井戸揚水による流出については、それぞれ地下水流出に重要な要因であると考えられます（表4-3参照）。

流出量の合計は、流入量の合計に比べてずいぶん少なくなっています。琵琶湖への流出量については、4-1節で述べた琵琶湖周辺全域の地下水流出量に対して約3～11%となっており、高時川低地からの流出量としては、ほぼ妥当な量と想定されます。したがって、余呉川・田川への流出量及び井戸からの揚水量がもっと大きいものと想定されます。

表 4-3 地下水流出要因のまとめ

	地下水の流出量 (億 m ³ /年)		備 考
	概算値 ^{*1)}	予想値 ^{*2)}	
琵琶湖への流出量	0.27	0.3～0.4	沖合の湖底からの湧水を考慮していないため、流出量はもっと多い可能性もあります。
余呉川・田川等への流出量	0.19	0.65～0.85	実際には、灌漑期も地下水が河川に流出しており、また余呉川は西柳野から分流して湖北町山本～尾上に流下しているため、この量よりも多い流量が地下水から流出していると想定されます。
井戸からの揚水量	0.10	0.2～0.3	井戸としては、この他に一般民家が使用している井戸（多数）及び道路消雪用井戸等があるため、これよりも多くの量が揚水されていると想定されます。
流出量合計	0.56	1.35	流入量合計1.4 億 m ³ /年に比べて、0.8 億 m ³ /年少なくなっています。したがって、余呉川・田川への流出量及び井戸からの揚水量はもっと大きいと想定されます。

*1) 概算値: 既往文献をもとに算定した流出量。

*2) 予想値: 合計流出量が合計流入量となるように、各項目の流出量を予想した値。

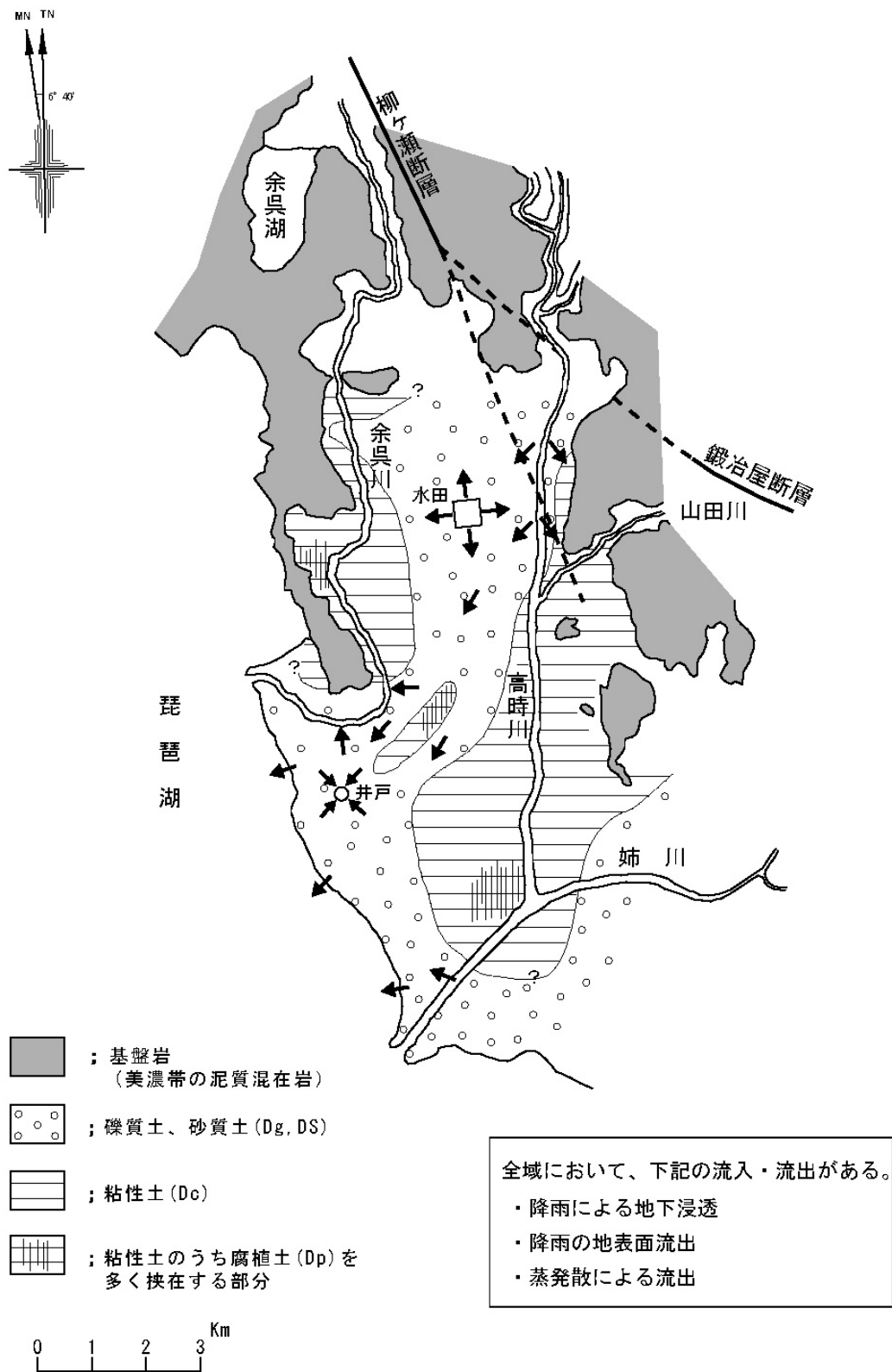


図 4-4 水収支の概念平面図

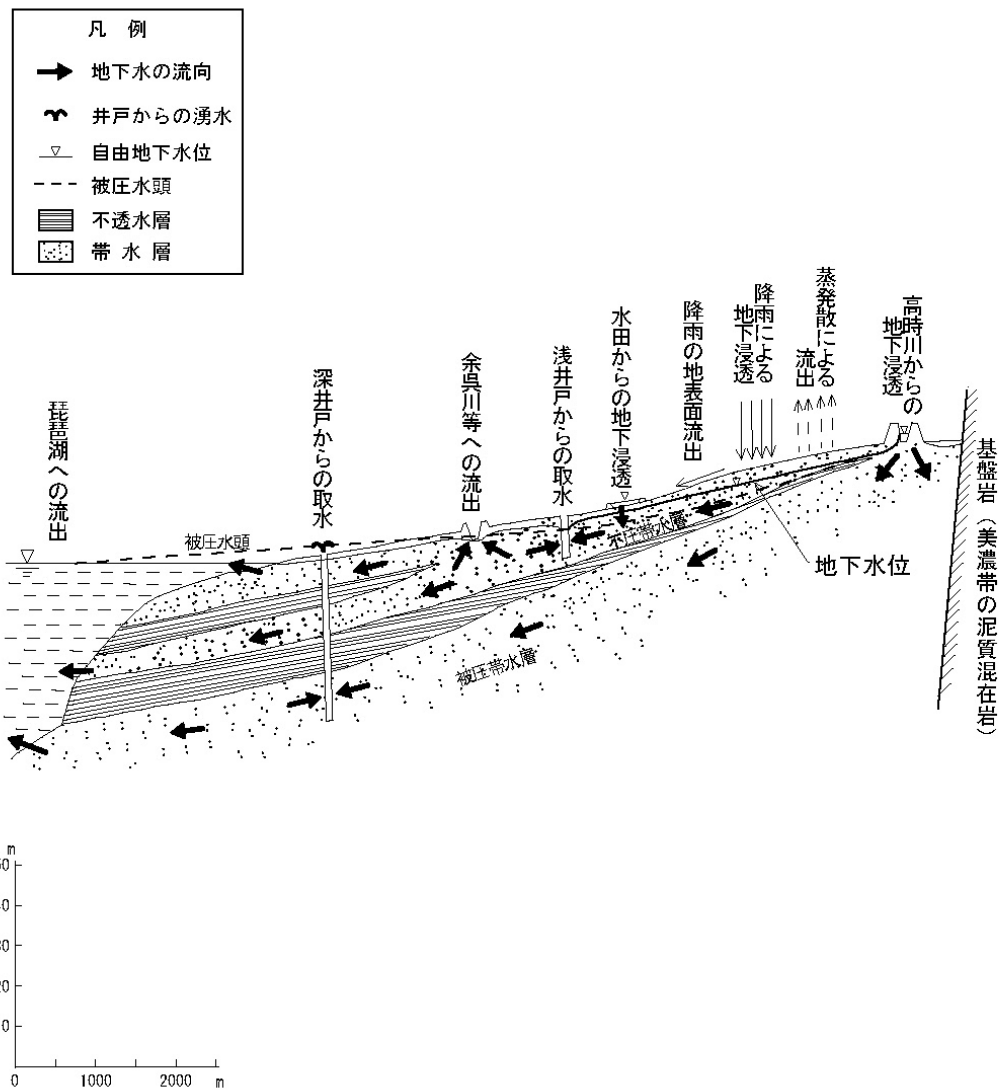


図 4-5 水収支の概念断面図

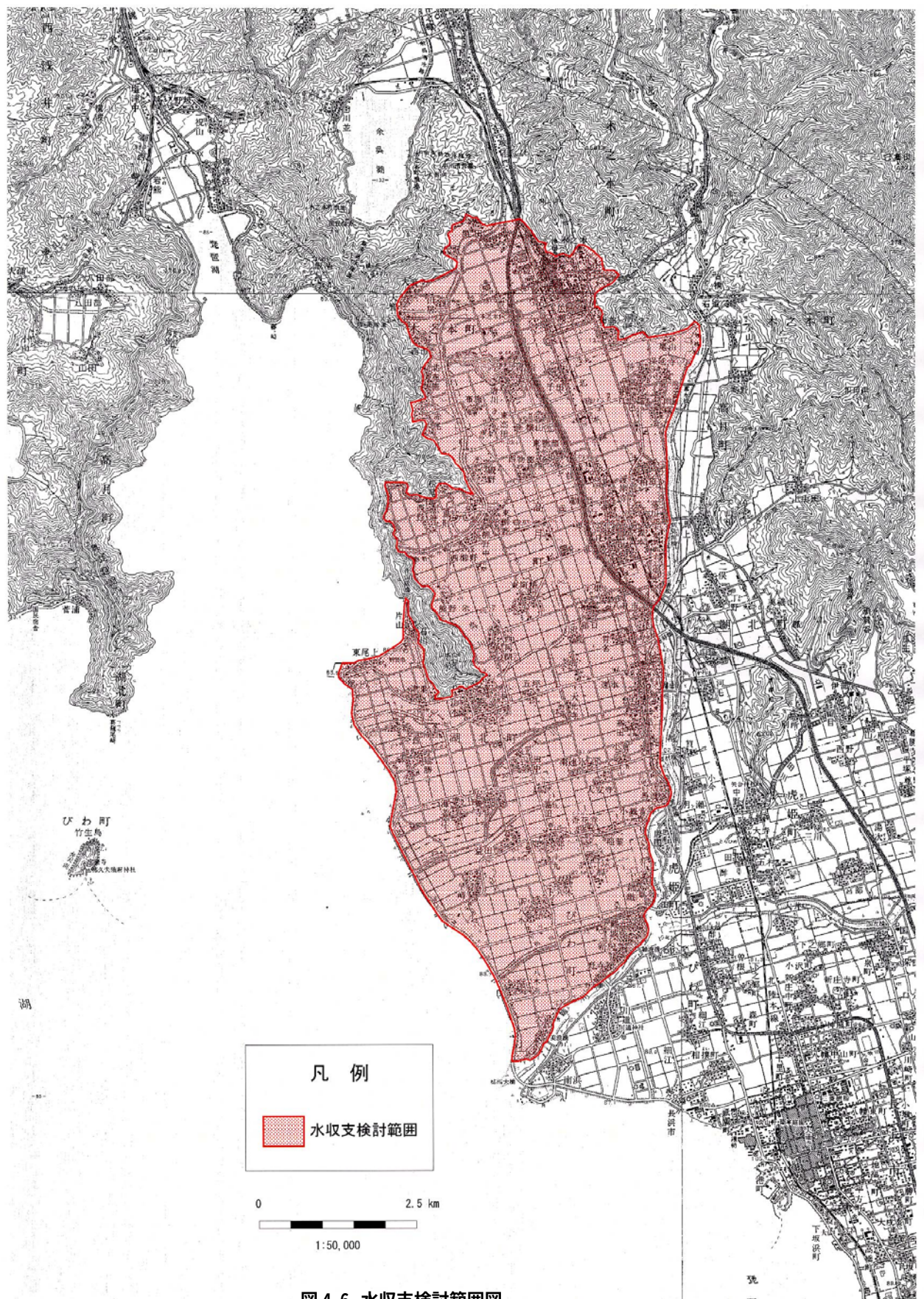


図 4-6 水収支検討範囲図

4-3-1 高時川からの地下水供給量

損水得水とは、以下に示すように、一つの河川において観測地点間の流量が下流地点で多くなる場合を得水、少なくなる場合を損水といいます。したがって、途中において取水施設がない場合は、損水区間での損水量が地中への浸透量となると考えられます。



The graph displays river flow data for the Tone River (利根川) from 1945 to 1963. The x-axis represents the high water distance (高時川距路程) in kilometers (k), ranging from 0 to 14. The y-axis represents the river flow (河川流量) in cubic meters per second (m³/sec), ranging from 0 to 30. The legend lists 25 specific dates, each represented by a unique color and marker. The graph also includes labels for various bridges and confluences along the river route, such as 野寺橋, 錦織橋, 姉川合流, 馬渡橋, 賀村橋, 福橋, 新寿橋, 寿橋, 阿弥陀橋, 雨之森橋, 富永橋, and 井明神橋. The flow generally increases with distance, with notable peaks around 4 km and 11 km.

出典 建設省、昭和 60 年度姉川高時川流況現況調査作業報告書、昭和 61 年 3 月
出典 建設省、昭和 61 年度姉川高時川流況現況調査作業報告書、昭和 62 年 3 月
出典 建設省、昭和 62 年度姉川高時川流況現況調査作業報告書、昭和 63 年 3 月

河川区間毎の得水(+)と損水(−)をみると、以下のような傾向にあります(図 4-9 参照)。

- ・1.8k～3.2k(姉川合流地点) : 得水区間
- ・3.2k(姉川合流地点)～5.2k(馬渡橋) : 得水区間
- ・5.2k(馬渡橋)～6.4k(賀村橋) : 損水区間
- ・6.4k(賀村橋)～10.4k(阿弥陀橋) : 損得なし区間
- ・10.4k(阿弥陀橋)～13.4k(井明神橋) : 損水区間

この状況から判断すると、扇状地となっている 10k 付近より上流部では、河川水が地下に浸透し、河川水が地下水の供給源になっていることがわかります。

また、5.2k(馬渡橋)～6.4k(賀村橋)間でも損水区間になっていますが、この間に農業用取水管(唐国)があり取水しているため、どの程度河川水が地下に浸透しているかは不明です。

6.4k(賀村橋)～10.4k(阿弥陀橋)については、流量の変化がほとんどありませんが、この間には山田川が合流しています。したがって、山田川の合流にかかわらず流量の変化がないのは、この区間で河川水が地下に浸透している可能性もありますが、河川沿いに上水用井戸が7箇所、農業用取水管が1箇所あるため、どの程度河川水が地下に浸透しているかは不明です。

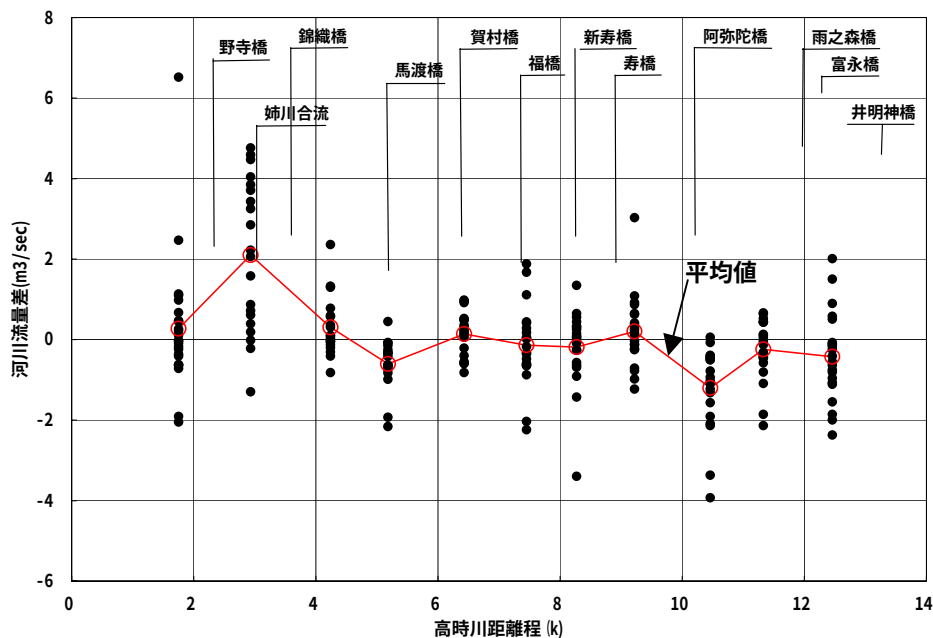


図 4-9 得水・損水状況図

出典) 建設省、昭和 60 年度姉川高時川流況現況調査作業報告書、昭和 61 年 3 月を加工

出典) 建設省、昭和 61 年度姉川高時川流況現況調査作業報告書、昭和 62 年 3 月を加工

出典) 建設省、昭和 62 年度姉川高時川流況現況調査作業報告書、昭和 63 年 3 月を加工

(2) 高時川から地下水への流出量

高時川の 10.4k(阿弥陀橋)～13.4k(井明神橋)間は、河川からの取水はほとんどなく、また流入河川もほとんどないため、流量の減少分はその大半が地下に浸透していると考えられます。

河川流量の観測地点は井明神(10.6k)と福橋(7.6k)があるため、この区間の河川流量の増減をみると、概ね4月～5月中旬及び12月～1月中旬のみ河川流量が増加し、これ以外の期間では河川流量が減少しています(図 4-10 参照)。

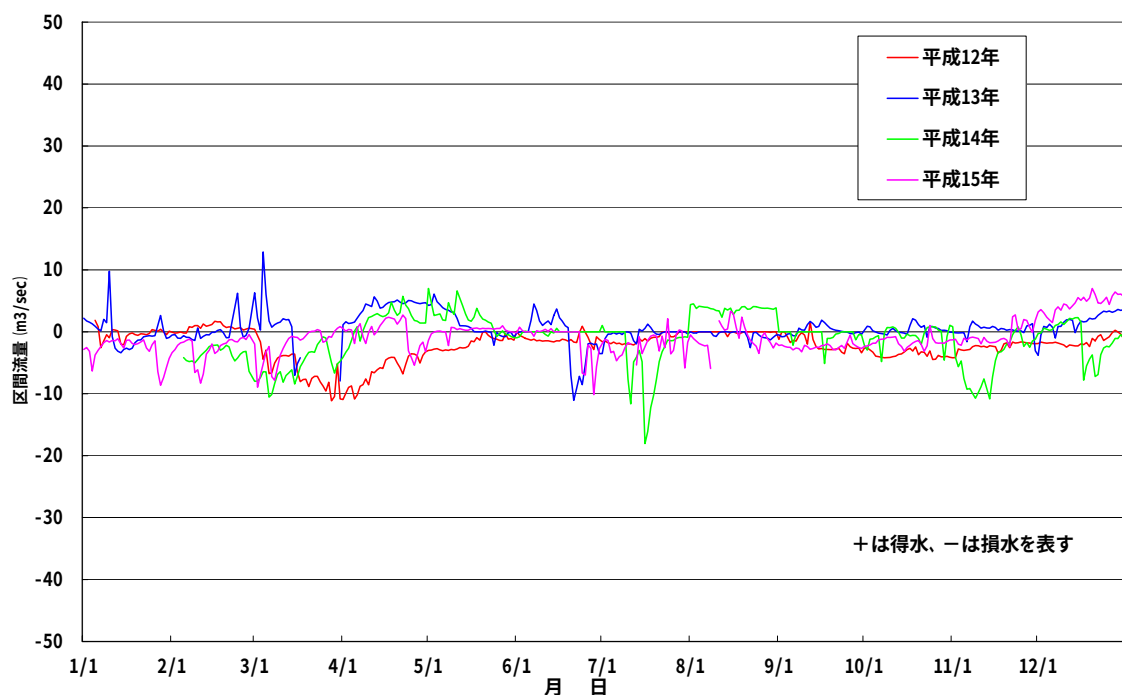


図 4-10 7.6k (福橋) ～13.4k (井明神橋) 間の流量差図

河川流量が減少する(マイナスとなる)ところは、河川水が地下に浸透していると想定されるため、この損失流量を累積して年間の流出流量を求めました(表 4-4 参照)。

福橋から井明神間で河川水が流出した量は、0.4～0.7 億 m³/年となっており、平均値としては、0.53 億 m³/年となります。

高時川からの地下水供給量＝0.53 億 m³/年

この量は、蒸発も考慮した降雨による地下水供給量(0.35 億 m³/年)よりも大きくなっており、河川水が地下水供給に対して大きな役割になっていることがわかります。

なお、表 4-4 には井明神から川合間の流入・流出量も記入してありますが、この間にある高時川頭首工からは農業用水が取水されています。

表 4-4 高時川河川水の区間流入・流出量

年	井明神－川合 流入流量 (億m ³ /年)	井明神－川合 流出流量 (億m ³ /年)	福橋－井明神 流入流量 (億m ³ /年)	福橋－井明神 流出流量 (億m ³ /年)
平成12年	0.08	-0.73	0.02	-0.69
平成13年	0.21	-1.11	0.33	-0.39
平成14年	0.04	-1.24	0.24	-0.55
平成15年	0.11	-1.46	0.24	-0.49
平均	0.11	-1.13	0.21	-0.53

4-3-2 水田からの地下水供給量

水収支検討範囲内の土地利用を見ると、その大半が水田となっています(図 4-11 参照)。
湖北地域の水田は、概ね表 4-5 のように水を使用しています。

表 4-5 滋賀県における代掻期・灌漑期

作 型 地 域		早期	早植	普通	作 付 体 系			
						早期	早植	普通
代 掻 期 間	湖 南	—	5/11～5/25	5/6～5/10		0	80	20
	湖 東	5/6～5/15	5/11～5/25	6/6～6/15		5	80	15
	湖 北	5/6～5/15	5/6～5/20	—		25	75	0
	湖 西	5/1～5/15	5/6～5/20	6/1～6/10		20	70	15
かんがい期間		100 日	110 日	105 日	県平均	10	75	15

出典) 堀野治彦、水田における地下水利用に関する研究－愛知川扇状地を事例として－、15 頁

湖北地域の農業用水は、主に高時川頭首工からの取水によるものです。

水田に水をはると、水が地中に浸透し、地下水に水が供給されます。この浸透量は一般的には減水深という表現で求められます。減水深とは水田における1日当たりの水位低下量を mm 単位で表したものです。湖北地方では、ほ場整備事業の目標値としての減水深は、28.0mm/日となっています。

水田からの浸透に関しては、減水深が全て地中に浸透しているのではなく、実際に地下水になるのはその半分程度とされています。^{*1)}

ここで、水田に水をはっている期間(灌漑期間)を表 4-5 より 105 日とし、減水深の半分が地下へ浸透すると考えると、水田から地下水への供給量は以下のように求められます。

$$\text{単位面積あたり水田からの地下水供給量} = 28.0 \times 0.5 / 1000 \times 105 \text{ 日} = 1.47 \text{ m}^3/\text{m}^2$$

水収支検討範囲の水田面積は 32.31km² であるため、この水田面積からの地下水供給量は以下ようになります。

$$\text{水田からの地下水供給量} = 1.47 \times 32.31 \times 10^6 = 47,495,700 \text{ m}^3/\text{年} = 0.47 \text{ 億 m}^3/\text{年}$$

*1) 滋賀県資料の記述を参考にした。

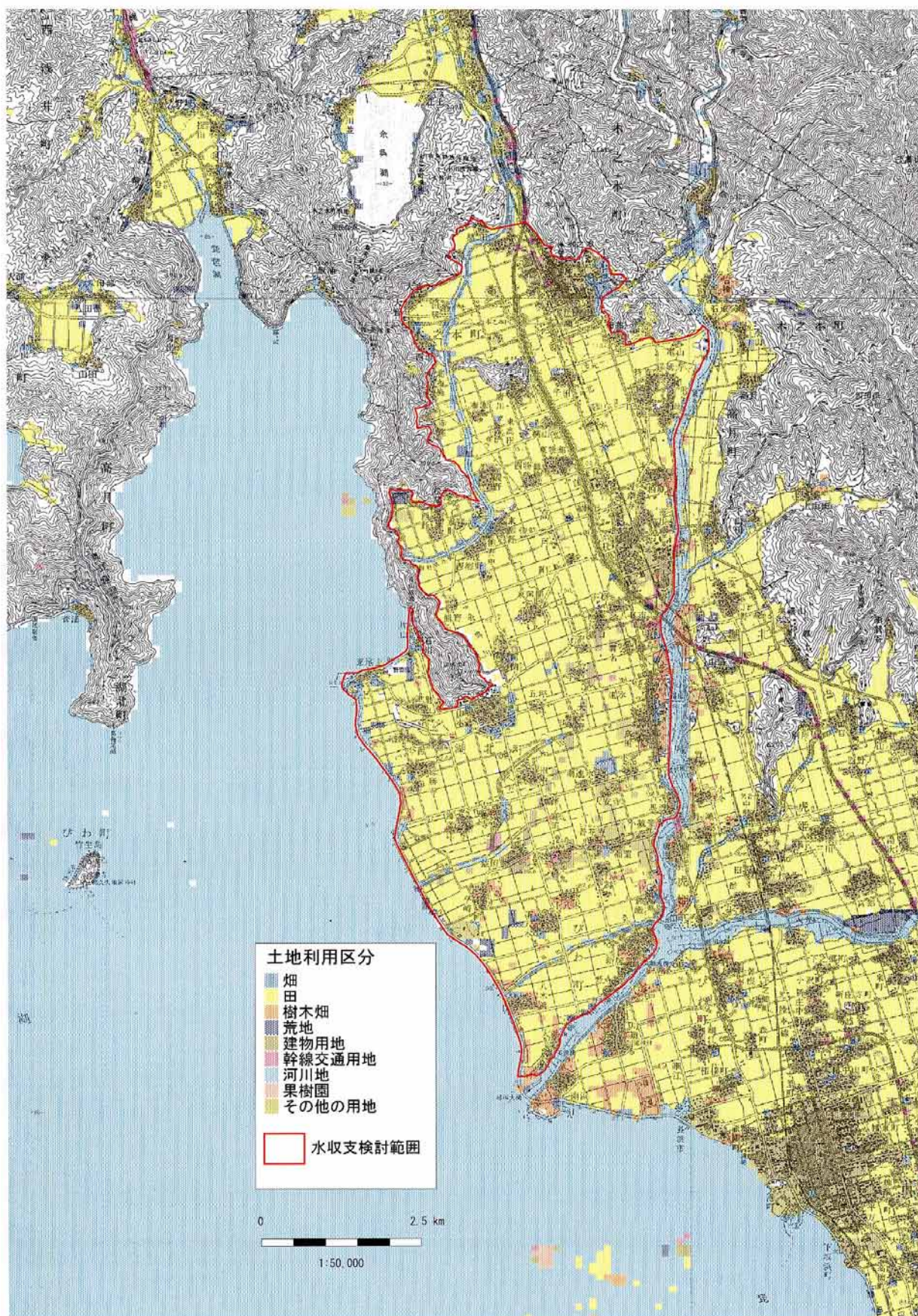


図 4-11 土地利用状況図

出典)「土地利用図」、国土地理院、昭和 53 年 12 月に加筆

4-3-3 降水による地下水供給量

高時川低地に降った雨や雪は、蒸発散により大気に流出します。したがって、地表を經由して地下水に供給される実質的な水量は、降水量から蒸発散を差し引いた量になります。

ただし、灌漑期の水田に降った雨は、水田に張った水と一緒に排水路からほぼ全量が流出するため、ほとんど地下には浸透せず、地下水への供給とはなりません。

(1) 降水量

高時川低地における 1941 年～1970 年間の 30 年間の年間平均降水量をみると、1600～2200mm/年となっています。高時川低地の平均値としては、1800mm/年程度となっています。

高時川低地の面積は、45.97km² 程度ですので、年間の降水量は以下のように求まります。

$$45.97 \times 10^6 \times 1800 \times 10^{-3} = 82,746,000 \text{ m}^3/\text{年} = 0.83 \text{ 億 m}^3/\text{年}$$

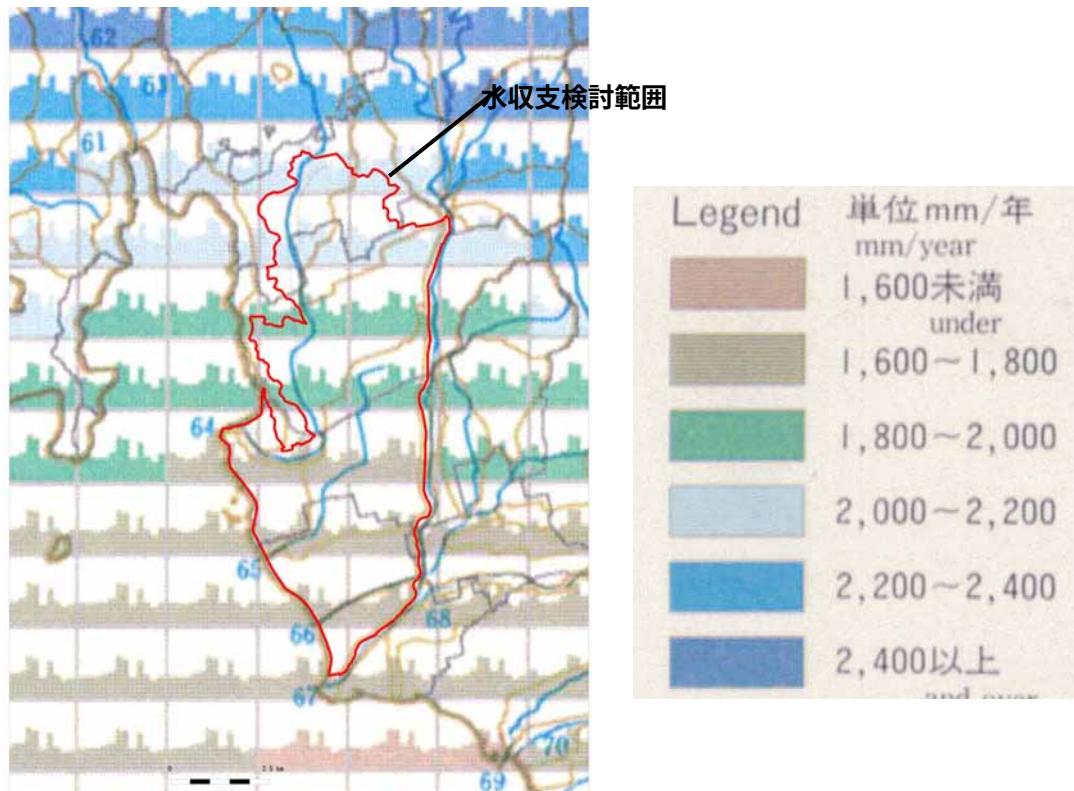


図 4-12 1941 年～1970 年間の年間平均降水量

出典)「滋賀県地域環境アトラス」、滋賀県琵琶湖研究所、昭和 60 年 10 月、琵琶湖データカタログ

(2) 蒸発散量

蒸発散量とは太陽熱により水田、河川等より自然的に蒸発する水分量のことです。なお、蒸発散量は、地形や土地の利用状況により大きく変化します。

高時川低地における 1941 年～1970 年間の 30 年間の年間平均蒸発散量をみると、700～800mm/年となっており、平均値としては、750mm/年程度となっています。

高時川低地の面積は、45.97km² 程度ですので、年間の蒸発散量は以下のように求まります。

$$45.97 \times 10^6 \times 750 \times 10^{-3} = 34,477,500 \text{ m}^3/\text{年} = 0.34 \text{ 億 m}^3/\text{年}$$

蒸発散量は、降水量の 41.7% ($=34,477,500/82,746,000$) となっており、降水量に対してかなりの量が蒸発散しています。

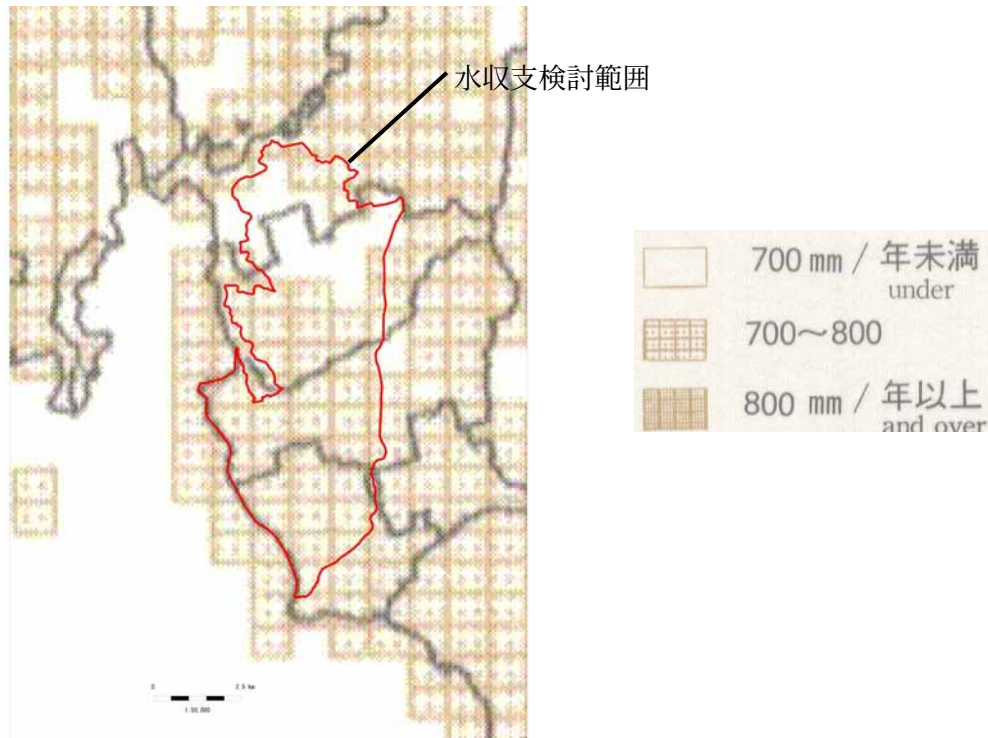


図 4-13 1941 年～1970 年間の年間平均蒸発散量

出典)「滋賀県地域環境アトラス」、滋賀県琵琶湖研究所、昭和 60 年 10 月、琵琶湖データカタログ

(3) 降水による地下水供給量

高時川低地の土地利用をみると、その大半が水田になっています。水田においては、降水が地下に浸透する水量は非灌漑期のみとなります。

このことから、降水による地下水供給量については、非灌漑期 (260 日) 間について、降水量から蒸発散量を差し引いて、降水による地下水供給量を求めました。なお、この地下水供給量については、豪雨時の地表流出を考慮していないため、やや大きめの値と考えられます。

$$\text{降水による地下水供給量} = (0.83 - 0.34) \times 260 / 365 = 0.35 \text{ 億 m}^3/\text{年}$$

4-4 地下水流出要因

4-4-1 琵琶湖への流出

地下水は最終的には琵琶湖に流出しています。

琵琶湖への地下水湧出量については、シーページメータを用いた沿岸湖底地下水湧出量調査が行われています。この調査結果例を図 4-14 に示します。湖底湧出量は湖岸近傍で高く、沖合に向けて急激に減少しています。実際には、湖底湧出量が沖合までほぼ一定の場合や沖合で急激に増加するところもあります。

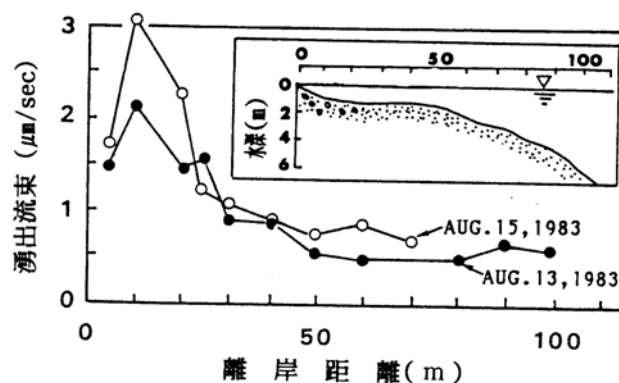


図 4-14 湖岸付近の地下水湧水量分布事例 (和邇南浜)

出典) 小林正雄、「琵琶湖流域を読む 下 多様な河川世界へのガイドブック」、サンライズ出版、平成 15 年 2 月、228 頁

高時川低地における湖岸(余呉川河口～高時川河口)における湖底湧水量調査結果をもとに、湖岸から 300m 沖までを対象として湧出量を求めた結果を表 4-7 に示します。測定地点の水理地質構造の検討を行った上で、各地点の単位幅当たりの湧出量を求め、その値にそれぞれの区域の湖岸長を乗じ積算して求めています。この結果を見ると、湖底からの地下水湧出量は 0.27 億 m³/年と推定されます。

琵琶湖全域での地下水流出量は、8.5 億 m³/年と推定されていますので、高時川低地では約 3%となります。

ただし、この算定においては、水深 10～20m の湖岸から 300m 沖合までしか湧水が生じないという条件となっており、沖合の湖底にある透水性の高い帯水層からの湧水を考慮していないため、流出量を過小評価している可能性もあります。

表 4-7 高時川低地における琵琶湖湖底への地下水流出量

測点番号	湖岸長(km)	湖岸からの距離(km)	湧出面積(km ²)	平均湧出速度(l/m ² ・日)	補正係数(α1)	補正係数(α2)	地下水流出量(億 m ³ /年)
St.22	3.70	0.3	1.11	15.2	1.3	1.5	0.12
St.23	4.07	0.3	1.22	17.0	1.3	1.5	0.15
合計	7.77		2.33				0.27

注1) 補正係数 α1: 1箇所の観測値で湖岸横断方向の湧水量を代表させる際の補正係数

注2) 補正係数 α2: 5ヶ月平均湧水量をもとに年間湧水量を求める際の補正係数

出典) 鶴巻道二・小林正雄、湖沼と地下水、地学雑誌 98-2、平成元年、65 頁

4-4-2 余呉川・田川等への流出

地下水は、余呉川や田川等の河川や池等に流出しています。この中で、データがある箇所のみで、流出量の推定を行いました。流出量の合計が流入量の合計と考えて差し引きから予想すると、余呉川・田川等への流出量は0.65～0.85 億 m³/年と予想されます。

(1) 余呉川への流出

余呉川は、掘り込み河道であり、平常時の河川水位は地下水位よりも低くなっています。したがって、地下水は余呉川に流出していると考えられます。

平成10年9月から平成11年7月にかけて実施された西柳野地点(下流)と黒田地点(上流)の同時河川流量調査結果を図 4-15 に示しました。この図を見ると、年間を通して黒田地点と西柳野地点の間で流量が増加しており、この間は得水区間であることがわかります。非灌漑期(2月)の流量が灌漑期(7月～9月)の流量よりも大きくなっており、非灌漑期の方が灌漑期よりも、黒田地点と西柳野地点の間の流量増加量が大きくなっています。この原因としては、非灌漑期に高時川周辺の地下水位が高くなるため、動水勾配が大きくなって余呉川への流出量が大きくなっていることも原因の一つと考えられます。

黒田地点と西柳野地点の間には大きな河川の合流はなく、排水路等しかないため、非灌漑期の灌漑期に対する流量増加分を地下水からの供給量と考えると、

$$2.4 - 1.8 = 0.6 \text{ m}^3/\text{sec} = 0.19 \text{ 億 m}^3/\text{年}$$

となります。

実際には、灌漑期も地下水が河川に流出しており、また余呉川は西柳野から分流して湖北町山本～尾上に流下しているため、この量よりも多い流量が地下水から供給されていると想定されます。

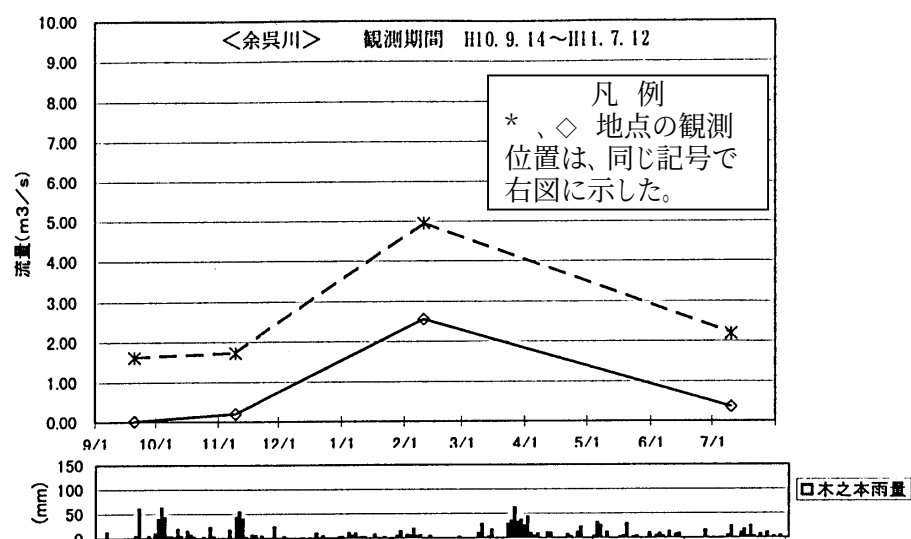


図 4-15 同時流量観測結果(余呉川)

出典) 滋賀県資料より

(2) 田川への流出

田川は、掘り込み河道であり、高時川の下を横断して流下しています。したがって、地下水は田川に流出していると考えられます。

この地下水から田川への流出量は、データがないため推定は困難です。

4-4-3 井戸取水

高時川低地では、農業用・工業用・上水道用の多数の井戸が設けられ、地下水が取水されています。井戸の使用実態について、図 4-14 に示します。

この図でも分かるように、良好な帯水層が分布していない姉川合流部付近を除き、多くの井戸があることがわかります。

この井戸による取水量について、虎姫町、湖北町、びわ町、高月町、木之本町における揚水量を集計して表 4-8 に示します。

表 4-8 井戸揚水量

用途別	井戸揚水量 (億 m ³ /年)
水道	0.043
工業	0.033
農業	0.024
合計	0.100

出典) 滋賀県資料による

これによれば、水道用、工業用、農業用井戸の揚水量合計は 0.1 億 m³/年程度になっています。

井戸としては、この他に一般民家が使用している井戸と冬場の道路消雪用の井戸があります。

一般民家が使用している井戸は、多数存在しています（図 4-15 参照）。民家の井戸についてはデータがないため正確にはわかりませんが、常時湧水している井戸も存在するため、上記の水道用、工業用、農業用井戸の揚水量合計 0.1 億 m³/年程度の量が揚水等されていると想定されます。

道路消雪井戸については、データがないため推定が困難です。

井戸の位置・取水量の詳細を調査することは非常に難しく、取水量を正確に把握している井戸はほとんどないと想定されます。したがって、井戸による取水量や湧水量を正確に調べることは困難ですが、目安という意味で考えると、0.2～0.3 億 m³/年程度（流入量を 1.35 億 m³/年とすればその 1.5～2 割程度）の地下水が揚水されている可能性があります。

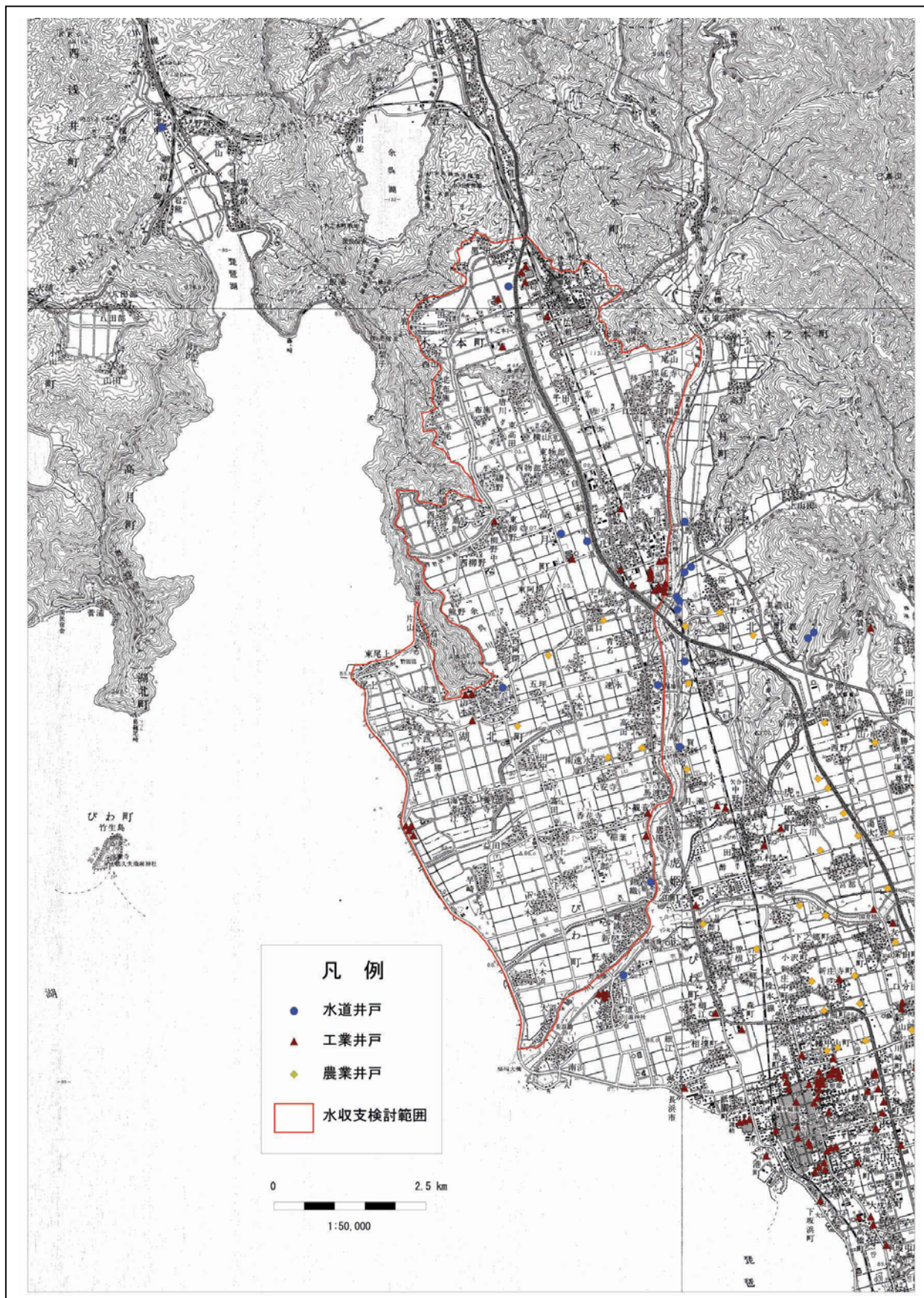


図 4-14 農業用・工業用・上水道用井戸の分布状況

出典) 滋賀県資料にもとづき整理

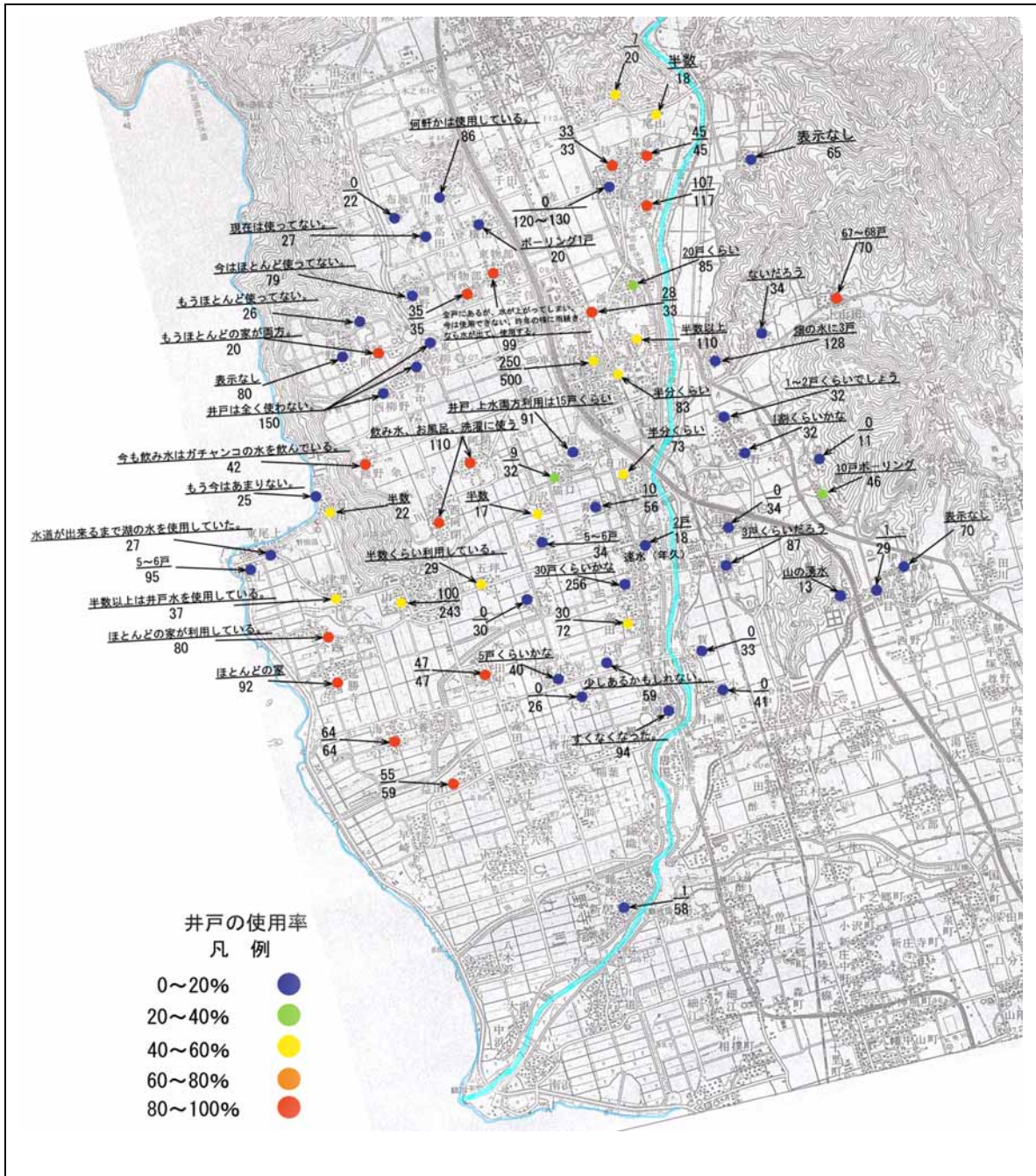


図 4-15 集落毎の民間井戸使用率

出典) 嘉田由紀子、「水環境カルテ」、琵琶湖博物館、平成 10 年 にもとづき整理

第5章 地下水位の低下が周辺地域に及ぼす影響

高時川低地には多くの浅井戸及び深井戸があり、飲料水・生活用水、農業・工業用水に利用されています。その利用量は、地下水流入量に対してその 1.5 割～2 割と予想されます。したがって、地下水位が低下すると井戸の取水量が減少したり、最悪の場合枯渇したりする可能性もあり、影響は大きいものと想定されます。

高時川低地では、余呉川の右岸側の低地部、高時川と姉川の合流部付近に圧縮性の高い有機質土や軟弱な粘性土が分布しているため、これらの地域では地下水位の低下により地盤が沈下し、建物等の構造物の機能が損なわれる可能性があります。

高時川では動水勾配が大きくなって漏水量が多くなり、余呉川や田川では動水勾配が小さくなって地下水からの供給量が少なくなります。井戸の取水量や地盤沈下に比べて影響は小さいと想定されます。また、水田や池、構造物支持力についても、影響はほとんどないと想定されます。

5-1 地下水利用施設への影響

高時川低地には多くの浅井戸、深井戸があり、それらの利用量は 0.2～0.3 億 m³/年(地下水流入量に対してその 1.5 割～2 割)と大きいことが予想されます。したがって、地下水位が低下すると井戸の取水量が減少したり、最悪の場合枯渇したりする可能性もあり、影響は大きいものと想定されます。

(1) 地下水位低下による浅井戸への影響

地下水位が低下すると、帯水層の厚さや井戸の深さによって状況は変わりますが、取水量が減少する可能性もあります。また、場合によっては枯渇することもあります。

高時川低地には多くの浅井戸があり、井戸は飲料水・生活用水、農業・工業用水に利用されています。したがって、地下水位低下による井戸の取水量減少や枯渇は影響が大きいと考えられます。

(2) 地下水位低下による深井戸への影響

地下水頭(深井戸の水位)が低下すると、ポンプの揚程が大きくなり、取水量が減少することもあります。また、場合によってはポンプの交換が必要になることもあります。

また、湖北地方の湖岸地域に多く見られる自噴地帯においては、自噴が停止する可能性もあります。

高時川低地には浅井戸同様に多くの深井戸があり、飲料水・生活用水、農業・工業用水に利用されています。したがって、地下水位低下による井戸の取水量減少や枯渇は影響が大きいと考えられます。

5-2 河川への影響

(1) 高時川への影響

高時川は天井川となっており、この河川水は地下水に水を供給している状況です。したがって、地下水位が低下した場合は、動水勾配が大きくなり、高時川から地下水への供給量が多くなります。

高時川は、現在でも瀬切れが多発しており、河川水が少ない状況にあるため、これ以上流量が少なくなると、生態系や水辺景観を含めた河川環境が悪化する可能性があります。

(2) 余呉川への影響

余呉川は大半の区間が掘り込み河道となっており、地下水が河川に水を供給している状況です。したがって、地下水位が低下した場合は、動水勾配が小さくなり、地下水から余呉川への供給量が少なくなります。また、地下水位が余呉川水位よりも低くなった場合は、逆に余呉川から地下水に水が流入すること考えられます。

ただし、余呉川では、河川周辺地盤が透水性の低い粘性土で構成されている区間があり、その区間については周辺帯水層からの水の供給量がほとんどなく地下水位低下による影響は少ないと考えられます。

(3) 田川への影響

田川も、河床は堤内地地盤よりも低いため、地下水が河川に水を供給している状況です。したがって、地下水位が低下した場合は、動水勾配が小さくなり、地下水から田川への供給量が少なくなります。また、地下水位が田川水位よりも低くなった場合は、逆に余呉川から地下水に水が流入すること考えられます。

ただし、高時川交差地点付近より下流の田川では、河川周辺地盤が透水性の低い粘性土で構成されている区間があり、その区間については周辺帯水層からの水の供給量がほとんどなく地下水位低下による影響は少ないと考えられます。

5-3 広域地盤沈下

(1) 地下水位低下による広域地盤沈下の発生

一般に、地下水位が低下すると地盤の脱水沈下が生じ、地下水面が上昇すると地盤の膨潤・隆起が生じます。この影響は、砂質土・礫質土で小さく、粘性土・有機質土で大きいものとなります。

琵琶湖周辺は地層変化が激しいので、地下水位低下による沈下量は場所により顕著に変化すると考えられます。

したがって、特に圧縮性の高い有機質土や軟弱な粘性土が分布する地域では、地下水位低下によって地盤が沈下し、建物等の構造物の機能が損なわれる可能性があります。

高時川低地では、余呉川の低地部、高時川と姉川の合流部付近に圧縮性の高い有機質土や軟弱な粘性土が分布しているため、これらの地域では地下水位の低下により地盤が沈下する可能性があります(図5-1参照)。

(2) 有機質粘土の沈下計算事例

大中之湖付近の有機質粘土地盤をモデルにして、地下水位を1m,2m,3mと順に低下させた場合の計算事例を示します。

地層の収縮量は上層ほど大きくなります。なお、この計算では地下水面上にあらわれた地盤は一応地下水面と釣合った毛管水で飽和されていると仮定していますが、地表附近は気乾燥作用をうけて地表附近の収縮量はさらに大きくなり、したがって全体の沈下量も大きくなると考えられます。

表 5-1 沈下計算例

地下水位低下量	沈下量(cm)	
	有機質粘土層厚 10m	有機質粘土層厚 2m
1m	87	59
2m	112	64
3m	126	64

出典) 建設省資料

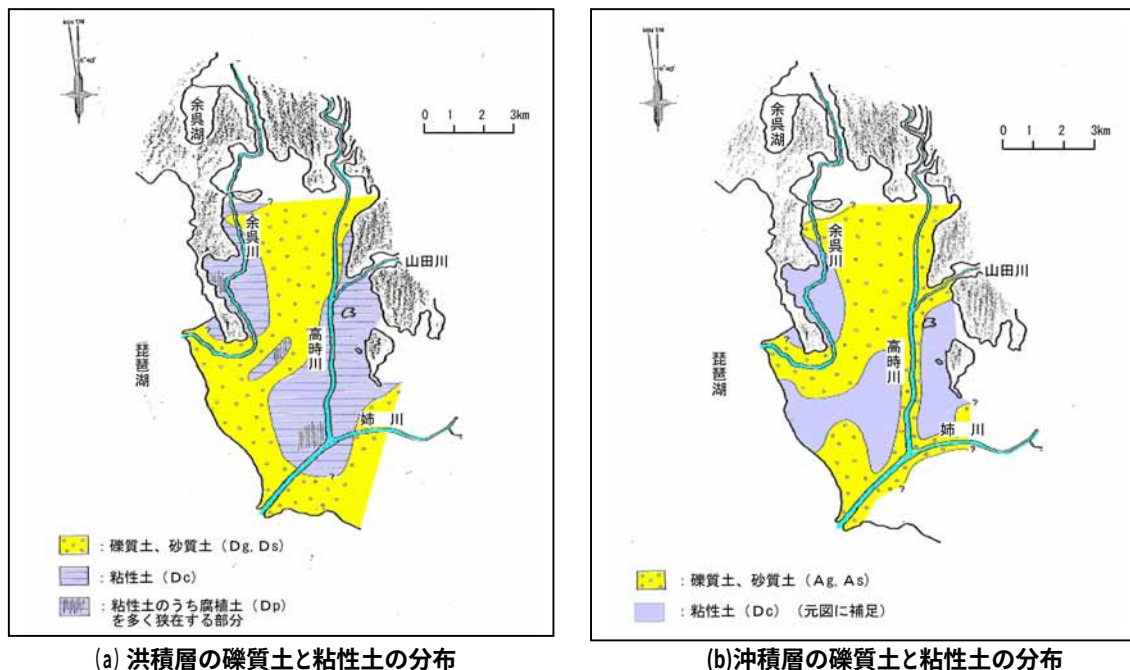


図 5-1 洪積層及び沖積層の礫質土と粘性土の分布

出典) 建設省、高時川沿川地質等資料収集業務報告書、1981 年 10 月

5-4 水田や池に及ぼす影響

(1) 地下水位低下が水田や池に及ぼす影響

地下水位低下による水田や池の漏水量への影響については、地盤構成によって異なります。

地盤が砂質土等の均質な地盤の場合は、地下水位が低い程動水勾配が小さくなって、漏水量が少なくなります。したがって、地下水低下によって漏水量は少なくなります。なお、地下水位深度が水田や池の水深に比べて十分深い場合は、地下水位変動は漏水量に影響しません。

地盤上部の透水性が悪く、下部に透水性の良い層がある場合については、地下水位が透水性の良い層の上面から下に低下すると、水田や池からの漏水量は大きくなります。

地盤上部の透水性が良く、下部に透水性の悪い層がある場合については、透水性の悪い層の上面に見かけの地下水面が生じるため、地下水低下によって水田や池からの漏水量は少なくなります。

上記のことから、地下水位の低下による水田や池の漏水量への影響については、地盤構成によって影響の状況が異なるため、場所によって漏水量が増加したり減少したりすると考えられます。

一般に、水田の減水深は 20～30mm/日 がよいとされています。漏水量の変化はその量により収量の増減につながりますが、ほ場整備が進んでいることもあり、地下水位低下が水田に及ぼす影響は少ないと思われます。

(2) 均質地盤内での地下水位低下の影響検討例

地表水面を一定とし、地下水位が H_1 から H_2 に低下した場合 (図 5-2 参照) の下向きの動水勾配は、 $(h+H_1)/H_1$ から $(h+H_2)/H_2$ に変化します。動水勾配が小さくなるため、流速 (流量) も小さくなります (1-5 節参照)。このことより、地表水面と地下水面の間に定常的な流れがあるときは、地下水位が低いほど漏水量が少なくなります。

また、地下水位深度に比べて地表水深が極めて小さければ、上記の動水勾配は地下水位低下前も後も 1 に近づくため、流速 (流量) はほぼ一定となり、地下水位低下は漏水量に影響しません。

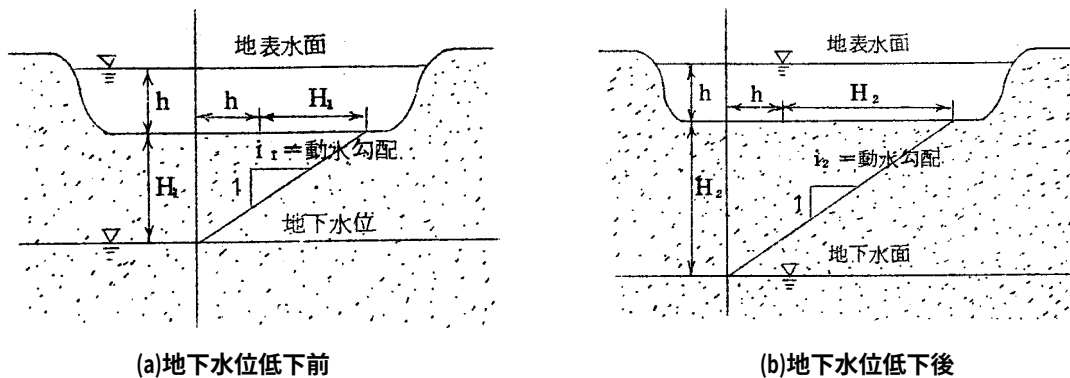


図 5-2 地下水位変動が水田や池などからの漏水に及ぼす影響 (均質砂質土の場合)
出典) 建設省資料

(3) 地盤の下部に透水性の良い層があるときの地下水位低下の影響検討例

図 5-3 において、 H_1 の深さまで透水性が悪く、 H_1 より下方は透水性が良い場合に、地下水位が H_1 から H_2 に低下すると、水田や池からの漏水がどうなるかを検討しました。

一般に透水性の悪い地層の透水係数 k_1 は透水性の良い地層の透水係数 k_2 に比べてオーダーの違いで小さいため、地下水位低下によって、水田や池からの漏水量は大きくなります。

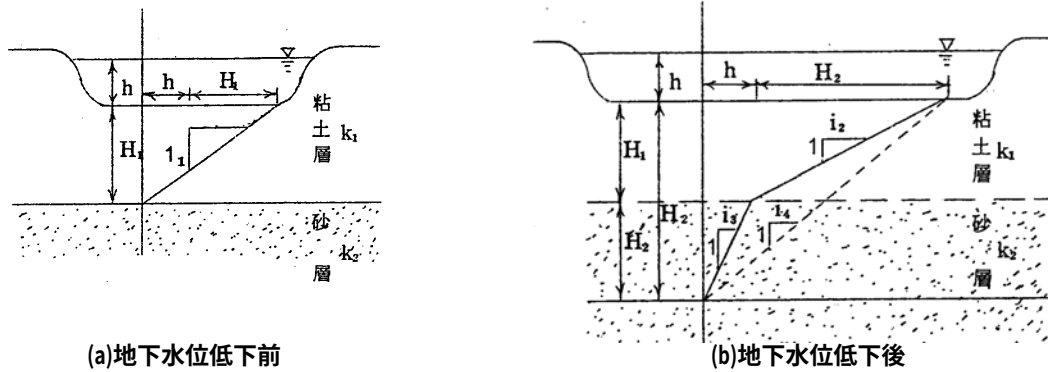


図 5-3 地下水位変動が水田や池などからの漏水に及ぼす影響 (二層地盤で下部が透水性の良い場合)
出典) 建設省資料

(4) 地盤の下部に透水性の悪い層があるときの地下水位低下の影響検討例

図 5-4 において、 H_1 の深さまで透水性が良く、 H_1 より下方は透水性が悪い場合に、地下水位が H_1 から H_2 に低下すると、水田や池からの漏水がどうなるかを検討しました。

下層の透水係数 k_2 が粘土のように極めて小さい場合は、下層中の地下水の流速は極めて遅く、地下水位変動はほとんど生じません。さらに、上層からの水の流れがある場合は、下層上面に見かけの地下水面ができ、地下水位の変動が地表水の漏水に影響するのは、上層内だけの問題となります。したがって、(1)と同様な状況となり、地下水位が低いほど漏水量が少なくなります。

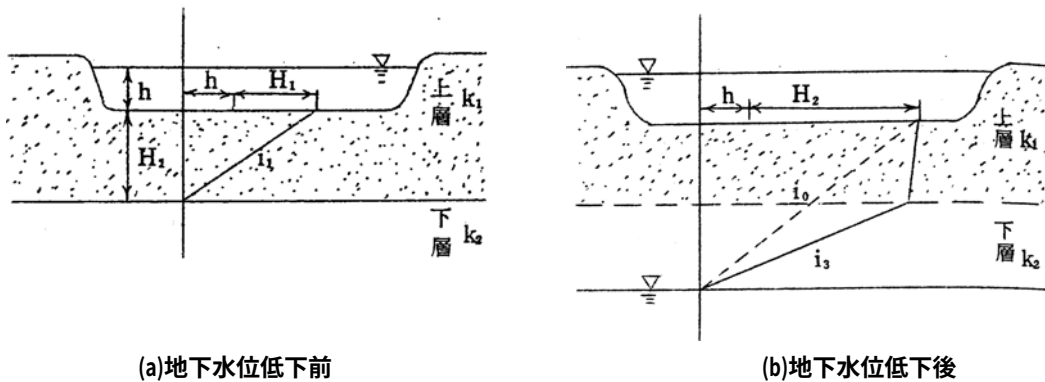


図 5-4 地下水位変動が水田や池などからの漏水に及ぼす影響 (二層地盤上で下部が透水性の悪い場合)
出典) 建設省資料

5-5 構造物の基礎支持力への影響

構造物の基礎の支持力は、地下水位が低い程大きくなるため、地下水位の低下によって影響はほとんど受けません。ただし、木杭を用いた構造物の場合、地下水位低下のために地下水位より上方に出た木杭の部分が腐食し、その結果、不同沈下を起こすことがあります。

5-6 地下水位の低下が周辺地域に及ぼす影響のまとめ

高時川低地には多くの浅井戸及び深井戸があり、飲料水・生活用水、農業・工業用水に利用されています。その利用量は、地下水流入量に対してある程度の割合を占めており(前述の試算によれば 1.5 割～2 割)、地下水位が低下すると井戸の取水量が減少したり、最悪の場合枯渇したりする可能性もありと想定されます。

余呉川右岸側の低地部や高時川と姉川の合流部付近には、圧縮性の高い有機質土や軟弱な粘性土が分布しており、これらの地域では地下水位低下により地盤が沈下し、建物等の構造物の機能が損なわれる可能性があります。

地下水位が低下すると、高時川では漏水量が多くなり、余呉川や田川では地下水からの供給量が少なくなりますが、井戸や地盤沈下に比べて影響は小さいと想定されます。また、水田や池の漏水量や構造物支持力については、影響はほとんどないと想定されます。

上記のことより、地下水位低下が周辺地域に及ぼす影響としては、下記の2つが重要と考えられます。

- ① 井戸の取水量減少・枯渇
- ② 地盤沈下

姉川・高時川流域についての地下水障害として、井戸水位の低下、地盤の沈下、井戸水質の悪化が報告されています(滋賀県資料による)。

それぞれの地下水障害の因果関係が明確ではありませんが、少なくとも井戸水位の低下と地盤の沈下は地下水位の低下が起因しているものと考えられます。

地下水の水質の悪化については、一般的には下記のような原因が多いと思われます。これらは、地下水位の低下とは直接的には関係はないと思われます。

- ①過剰揚水などによる地下水流動系(水みち)の変化
- ②有害物質等の地下浸透による水質の悪化(地下水汚染)

地下水は一見貯まったまま動かないように見えますが、河川などの「流域」を単位とした循環過程の中でゆっくりと流動しています。そのため、過剰な揚水によって地下水位を急激に下げる等の人為的な行為により、水収支が不均衡となり、通常と異なる地下水の流れやこれに伴う物質の移動などによって水質の変化(悪化)が発生することがあります。また、近年問題となっている有機塩素化合物や産業廃棄物等による土壌・地下水の汚染なども地下水環境の質的な悪化を招く要因となっています。

第6章 今後の地下水状況

昭和 63 年 (1988 年) ～平成 14 年(2002 年)間の年平均の地下水位をみると、錦織と山脇の年平均地下水位はほとんど変化していませんが、速水と柏原の 2 地点は地下水位が低下している傾向にあります。この 2 地点は、高時川低地内にあるため、高時川低地の地下水位が現在まで低下してきていると推定されます。また、年間降水量 (虎姫) も少なくなる傾向にあります。なお、高時川低地の余呉川は河道掘削が計画されています。

地下水位が上昇する要因はほとんど無いと想定されるため、将来的に地下水位は低下していく可能性が高いと考えられます。

6-1 地下水位の低下

昭和 63 年 (1988 年) ～平成 14 年(2002 年)間の年平均の地下水位、河川水位、琵琶湖水位、降水量をまとめて、図 6-1、図 6-2 に示しました。

地下水位をみると、錦織と山脇の年平均地下水位はほとんど変化していませんが、速水と柏原の 2 地点は地下水位が低下している傾向にあります。

高時川河川水位については、福橋、野寺橋の 2 地点は年平均水位がほとんど変化していません。(なお、井明神河川水位は 5 年間の測定データしかないため他地点と同レベルの比較はできません。)

琵琶湖水位 (片山地点) についても、年平均水位はほとんど変化していません。

年間降水量 (虎姫) を見ると、年によってバラツキはありますが、降水量が少なくなる傾向にあります。

したがって、速水と柏原の 2 地点の地下水位が低下している原因の一つには、降水量の減少も考えられます。地下水位を観測している速水と柏原の 2 地点は、高時川 8k、11.3k 付近の右岸側の高時川低地内にあることから、高時川低地の地下水位が低下してきていると推定されます。

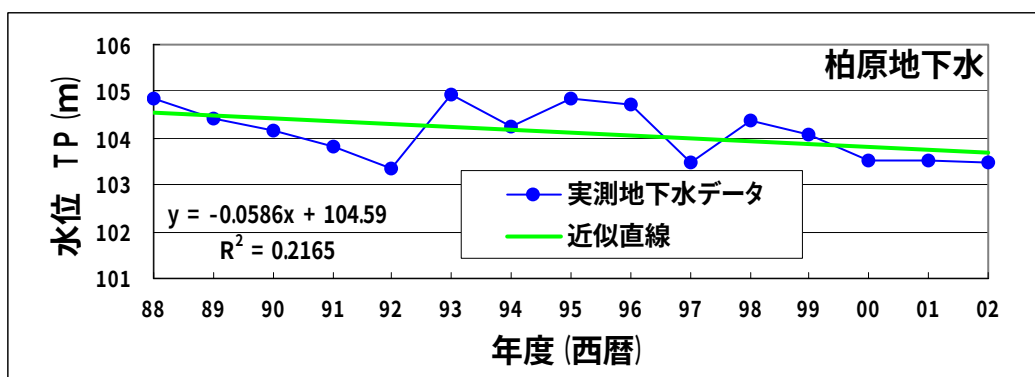
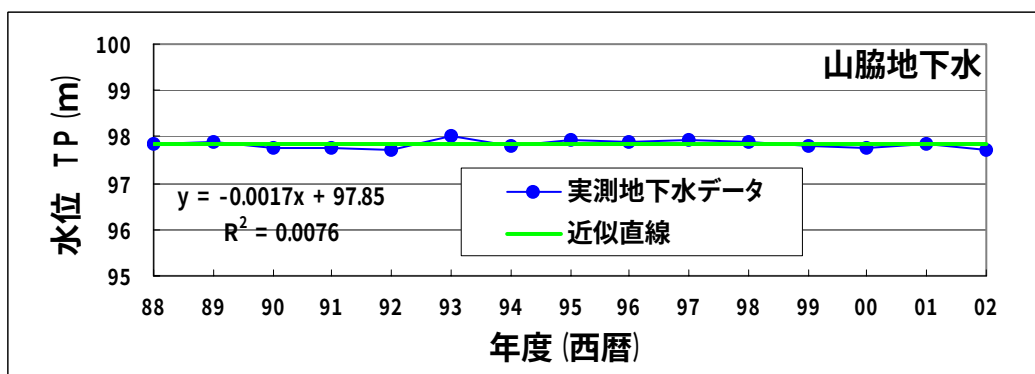
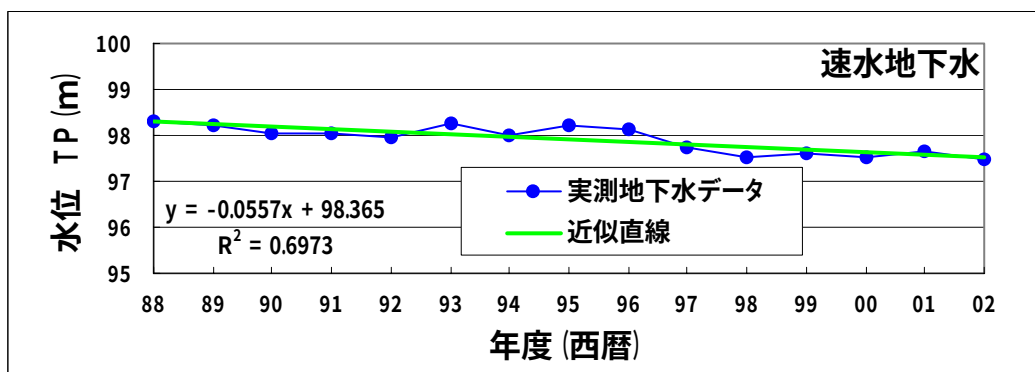
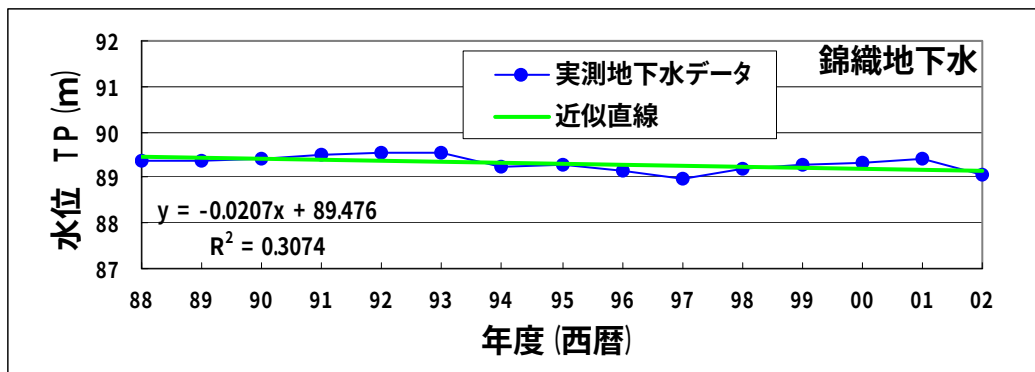


図 6-1 年平均地下水位の経時変化図

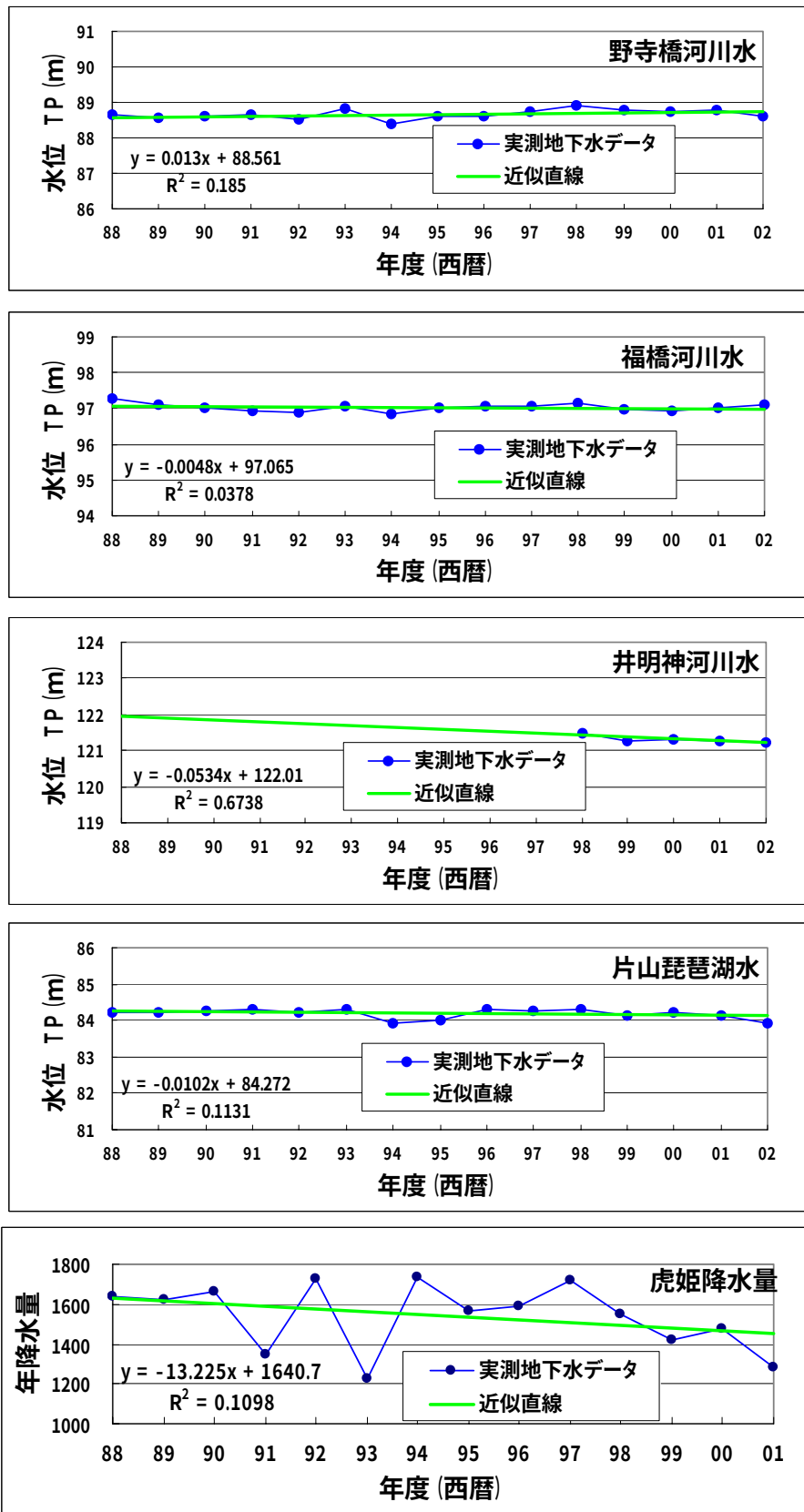


図 6-2 年平均河川水位、琵琶湖水位、年降水量の経時変化図

高時川低地には、余呉川、田川、丁野木川があります(図 6-4 参照)。これらの河川は、そのほとんどが堀込み河道です。

余呉川は、堀込み河道となっており、将来的には河道掘削が計画されています。

田川は、図 6-3 の横断図に示したように、堀込み河道となっています。将来的に河道掘削の計画はないため、今後周辺の地下水位への影響はほとんど無いと考えられます。



丁野木川も堀込み河道となっています。将来的に河道掘削の計画はないため、今後周辺の地下水位への影響はほとんど無いと考えられます。

昭和 63 年(1988 年)～平成 14 年(2002 年)間の年平均の河川水位、琵琶湖水位、地下水位をみると、速水と柏原の 2 地点は地下水位が低下している傾向にあります。この 2 地点は、高時川低地内にあるため、高時川低地の地下水位が現在まで低下してきていると推定されます。

高時川低地内の河川(余呉川、田川、丁野木川)は掘り込み河道となっており、このうち余呉川は将来的には河道掘削が計画されています。

農業用水については、作付面積が減少を続けていますので、現状以上に地下水利用（井戸の新設）は図られないと思われます。したがって、今後も地下水利用量はほとんどかわらないと思われます。

-64-

下していく可能性が高いと考えられます。

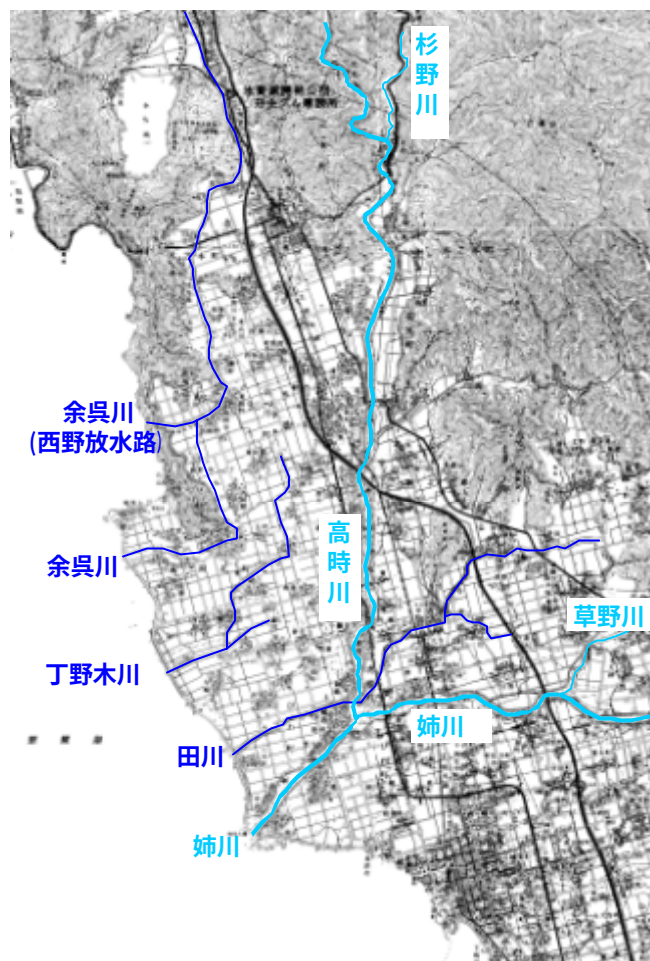


図 6-4 高時川低地の各河川の位置

第7章 地下水環境等から望まれる高時川流況

地下水は貴重な水資源であり、また環境を支える重要な要因となっています。

地下水位低下による地下水障害対策としては、高時川が低地部の地下水の重要な涵養源となっていることから、高時川の河川流量が減少して瀬切れを起こす時期においても、ある適切な流量を維持することが考えられます。

1年中河川に水域が連続するように高時川の流量を調整することにより、地下水環境が向上するものと考えられ、地下水環境保全にも寄与すると考えられます。

地下水は貴重な水資源であり、また環境を支える重要な要因となっています。

地下水位が低下した場合は、第5章で述べたように、周辺地域へ及ぼす影響が大きいと考えられます。

地下水位は年々低下傾向にあり、これまで多くの地下水障害(特に井戸への影響)が発生していると想定されます。

将来のことは明確にはわかりませんが、地下水や降水量が減少してきており、また余呉川等の河川改修も計画されているため、地下水位は現状維持か低下傾向になると想定されます。

したがって、今後も地下水位低下による地下水障害が発生する可能性は高いと想定されます。

地下水位低下による地下水障害対策としては、高時川が低地部の地下水の重要な涵養源となっていることから、高時川の河川流量が減少して瀬切れを起こす時期においても、ある適切な流量を維持することが考えられます。

1年中河川に水域が連続するように高時川の流量を調整することにより、地下水環境が向上するものと考えられ、さらに地下水環境保全への取り組みにも寄与すると考えられます。